

KARAKTERISTIK KOMPOSIT PANi/ZnO SEBAGAI BAHAN DASAR SENSOR GAS

¹⁾Lulu Nur Maulida, ²⁾Nugrahani Primary Putri

¹⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: lulu.18043@mhs.unesa.ac.id

²⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: nugrahaniprimary@unesa.ac.id

Abstrak

PANi merupakan salah satu polimer konduktif yang dapat dijadikan sebagai bahan dasar sensor gas. Pada pengaplikasiannya sebagai bahan dasar sensor gas, PANi memiliki kelemahan terkait tingkat sensitivitasnya sehingga perlu dikompositkan dengan bahan oksida logam. Salah satu oksida logam yang dapat digunakan untuk mendeteksi gas adalah ZnO. Pada penelitian ini dilakukan komposit PANi/ZnO menggunakan metode polimerisasi in-situ sebagai bahan dasar sensor gas yang selanjutnya dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform InfraRed (FTIR)*, *X-Ray Diffraction (XRD)*, dan *Scanning Electron Microscope (SEM)*. Hasil pengujian menunjukkan komposit PANi/ZnO berhasil disintesis menggunakan metode polimerisasi in-situ ditandai dengan adanya puncak serapan jenis ikatan milik ZnO pada 674 cm^{-1} yang menandakan keberadaan ZnO pada komposit PANi/ZnO, selanjutnya intensitas komposit menjadi lebih tinggi dibanding PANi pada $2\theta = 25.7^\circ$ yang menunjukkan adanya interaksi ZnO dan PANi dengan pembentukan ikatan hidrogen antara H-N dan oksigen dari ZnO. Komposit PANi/ZnO memiliki ukuran partikel 226 nm dengan bentuk *ovoidal-shaped* dan struktur berpori yang menandakan dapat digunakan sebagai bahan dasar sensor gas.

Kata Kunci: komposit, oksida logam, polimer konduktif, sensor gas

Abstract

PANi is a conductive polymer that can be used as the base material for gas sensors. In its application as a gas sensor base material, PANi has a weakness related to its sensitivity level, so it needs to be composited with metal oxide materials. One of the metal oxides that can be used to detect gas is ZnO. In this study, PANi/ZnO composites were used using the in-situ polymerization method as the base material for gas sensors which were further characterized using Fourier Transform InfraRed (FTIR), X-Ray Diffraction (XRD), and Scanning Electron Microscope (SEM). The test results show that the PANi/ZnO composite was successfully synthesized using the in-situ polymerization method characterized by the FTIR absorption peak at 674 cm^{-1} with the ZnO bond type indicating the presence of ZnO in the PANi/ZnO composite, then the composite intensity became higher than PANi at $2\theta = 25.7^\circ$ which indicates the interaction of ZnO and PANi with the formation of hydrogen bonds between H-N and oxygen from ZnO. The PANi/ZnO composite has a particle size of 226 nm with an ovoidal-shaped shape and a porous structure which indicates that it can be used as a gas sensor base material.

Keywords: composite, metal oxide, conductive polymer, gas sensors

PENDAHULUAN

Polimer yang dapat menghantarkan arus listrik dinamakan dengan polimer konduktif. Polimer konduktif memiliki nilai konduktivitas yang dihasilkan dari sifat kelistrikan semikonduktornya dimana terdapat sistem ikatan yang diperluas secara spasial (Asgari et al. 2019). Polimer konduktif memiliki beberapa kelebihan, diantaranya tahan terhadap korosi, ringan, dan mudah diproses (Liu et al. 2017). Dalam beberapa tahun terakhir, polimer konduktif mendapatkan perhatian peneliti karena pemanfaatannya untuk aplikasi pada baterai, perangkat elektronik, superkapasitor, sensor gas, dan pelindung korosi lapisan organik ('Arifah and Mahyudin 2021).

Pengembangan terhadap sensor gas berbasis polimer konduktif untuk mendeteksi gas kimia yang berbahaya bagi lingkungan telah banyak dilakukan. Terdapat beberapa polimer konduktif yang telah diteliti sebagai bahan dasar sensor gas, diantaranya Polianilin (PANi), Polipirrol (Ppy), Polithiofena (Pthiensia) (Akbar 2021). Beberapa sifat menarik yang dimiliki PANi menjadikannya material yang berpotensi dalam penginderaan gas dibanding dengan material polimer konduktif lainnya, sifat-sifat tersebut diantaranya nilai konduktivitas listrik yang tinggi, stabilitas lingkungan baik, biaya murah, dan proses sintesis yang mudah (Qin et al. 2018). PANi memiliki tiga fasa isolatif jika dilihat dari tingkat oksidasinya, yaitu *Emeraldine Base* (EB)

dengan fasa redoks teroksidasi setengah, *Leucomeraldine Base* (LB) dengan fasa redoks tereduksi penuh, dan *Pernigraniline Base* (PB) dengan fasa redoks teroksidasi penuh. Beberapa fasa tersebut bergantung pada jenis dan tingkat doping yang digunakan (Putri and Putra 2014). Dari beberapa fasa isolatif tersebut, PANi EB menjadi daya tarik tersendiri bagi peneliti karena sifatnya yang paling stabil diantara bentuk lain. Selain itu dengan penggunaan doping, konduktivitas PANi EB dapat diatur dari 10^{-10} S/cm hingga 100 S/cm (Widiyanti and Putri 2018). Pada penggunaannya sebagai bahan dasar sensor gas, PANi memiliki kelemahan dimana tingkat sensitivitasnya terhadap spesies gas tidak sebaik bahan oksida logam sehingga PANi perlu dikompositkan dengan material oksida logam. Salah satu oksida logam yang dapat digunakan dalam mendeteksi kebocoran gas adalah ZnO. Pada penelitian Widodo (2019) dijelaskan bahwa ZnO dapat mendeteksi beberapa gas, diantaranya NO_2 , H_2S , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, NH_3 , LPG, H_2 , dan CO.

ZnO merupakan bahan anorganik dan oksida logam semikonduktor yang memiliki sifat stabilitas elektrokimia baik, tidak beracun, dan biaya produksi rendah (Mahajan and Jagtap 2020; Thomas et al. 2017). Selain itu, ZnO juga memiliki sifat unik lainnya, yaitu celah pita lebar sebesar 3,37 eV, energi ikat eksiton tinggi sebesar 60 meV, dan resistivitas yang baik (10^{-3} sampai 10^5 cm) (Abdulrahman, Ahmed, and Almessiere 2017). Thomas et al. (2017) menjelaskan bahwa komposit polimer konduktif dengan oksida logam dapat meningkatkan luas permukaan aktif untuk reaksi penginderaan dimana kinerja sensor berkaitan langsung dengan rasio luas permukaan elemen penginderaan.

Pada penelitian ini dilakukan sintesis komposit PANi/ZnO menggunakan metode polimerisasi in-situ sebagai bahan dasar sensor gas yang selanjutnya dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform InfraRed* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

METODE

A. Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain gelas beaker, gelas ukur, neraca analitik digital, spatula kaca, mikropipet, pipet tetes, *erlenmeyer*, corong gelas, *vacuum pump*, kertas saring, *aluminium foil*, oven laborototium, kaca arloji, mortal, alu, *magnetic stirrer*, ultrasonifikasi. Sedangkan bahan yang digunakan antara lain anilin ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$), ZnO, HCl, APS, etanol, metanol.

B. Rancangan Penelitian

Terdapat beberapa tahapan yang dilakukan pada penelitian ini, diantaranya preparasi sampel dan

karakterisasi sampel. Preparasi sampel dilakukan dengan melakukan sintesis PANi dan sintesis komposit PANi/ZnO. Terdapat 3 sampel komposit PANi/ZnO yang diuji, yakni PANi/ZnO 0,1 gram (PZ1), PANi/ZnO 0,2 gram (PZ2), dan PANi/ZnO 0,3 gram (PZ3). Perbedaan dari masing masing sampel tersebut yakni massa ZnO yang dimasukkan pada komposit PANi/ZnO.

a. Sintesis PANi

Sintesis PANi dilakukan dengan metode polimerisasi oksidatif anilin. 20 ml anilin dilarutkan dalam 1M HCl dengan pengadukan menggunakan stirer selama 2 jam agar larutan homogen. 1M Amonium Peroksidisulfat (APS) ditambahkan tetes demi tetes ke dalam larutan dengan pengadukan konstan selama 5 jam. Larutan kemudian didiamkan selama 12 jam hingga larutan berwarna hijau tua. Endapan disaring, dicuci dengan HCl dan aquades hingga bening. Setelah itu endapan dipanaskan dalam oven pada suhu 80°C selama 16 jam lalu dihaluskan menggunakan mortal

b. Sintesis Komposit PANi/ZnO

Sintesis komposit PANi/ZnO dilakukan dengan metode polimerisasi in-situ. 0,9 ml anilin dilarutkan dalam 30 ml 1 M HCl. Selanjutnya ZnO dilarutkan dalam 20 ml aquades dan disonikasi selama 10 menit. Larutan ZnO kemudian ditambahkan pada larutan anilin dengan pengadukan selama 30 menit. Selanjutnya 50 ml 0,25 M APS ditambahkan tetes demi tetes dalam larutan PANi/ZnO dengan pengadukan konstan selama 4 jam. Endapan disaring, dicuci dengan etanol dan metanol kemudian endapan dipanaskan dalam oven dengan suhu 60°C selama 24 jam lalu dihaluskan menggunakan mortal.

C. Teknik Pengumpulan Data

Sampel PANi, ZnO dan komposit PANi/ZnO dikarakterisasi menggunakan spektroskopi FTIR untuk mengetahui ikatan atau gugus fungsi sampel dan XRD untuk mengidentifikasi kristalinitas sampel. Selanjutnya sampel komposit PZ2 dikarakterisasi menggunakan SEM untuk mengetahui ukuran partikel dan morfologi sampel. Data FTIR dan XRD diolah menggunakan *software Origin* sedangkan data SEM diolah dengan menggunakan *software Image-J*.

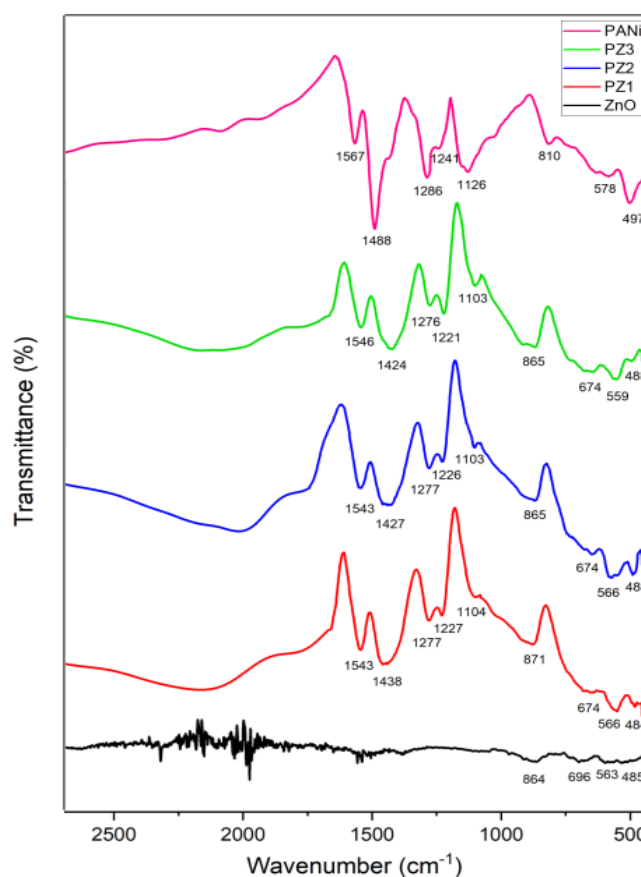
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel PANi, ZnO, dan komposit diuji dengan FTIR untuk mengidentifikasi jenis ikatan yang terbentuk. **Gambar 1** menunjukkan spektrum FTIR PANi, ZnO, dan komposit PANi/ZnO yang diamati pada rentang $2700\text{--}410\text{ cm}^{-1}$. Pada spektrum PANi, terdapat puncak serapan bilangan gelombang 1567 cm^{-1} dan 1488 cm^{-1} yang menunjukkan peregangan ikatan C=N gugus quinoid dan peregangan ikatan C=C gugus benzenoid. Kedua

spektrum tersebut merupakan puncak serapan utama karena keduanya merupakan gugus cincin yang terdapat pada semua fasa PANi. Rasio intensitas antara cincin quinoid dan benzenoid sebesar 1:3 menunjukkan PANi dalam keadaan konduktif (basa emeraldin). Rasio intensitas dapat dilihat melalui transmitansi dari kedua puncak (Mutlaq et al. 2021). Puncak serapan lainnya terdapat pada bilangan gelombang 1286 cm^{-1} dan 1241 cm^{-1} yang menunjukkan peregangan ikatan C-N gugus benzenoid (Mutlaq et al. 2021). Puncak pada 1126 cm^{-1} dan 810 cm^{-1} menunjukkan tekukan bidang C-H (Gilja et al. 2018). Puncak serapan pada 578 cm^{-1} dan 497 cm^{-1} menunjukkan ikatan C-N-C cincin aromatik (Mutlaq et al.

2021). Spektrum FTIR ZnO menunjukkan pita serapan yang terletak pada bilangan gelombang lebih rendah, yaitu daerah antara 864-485 yang menunjukkan regangan Zn-O-Zn dan Zn-O (Gilja et al. 2018; Mutlaq et al. 2021).

Pada komposit PANi/ZnO, spektrum serapan menunjukkan karakteristik dari PANi dan ZnO baik pada PZ1, PZ2, maupun PZ3. Namun, spektrum karakteristik PANi 1567 cm^{-1} , 1488 cm^{-1} , 1286 cm^{-1} dan 1241 cm^{-1} sedikit bergeser karena pembentukan ikatan hidrogen antara gugus N-H PANi dan ZnO sehingga komposit PANi/ZnO menunjukkan pergeseran bilangan gelombang ke sisi yang lebih rendah (Gilja et al. 2018).

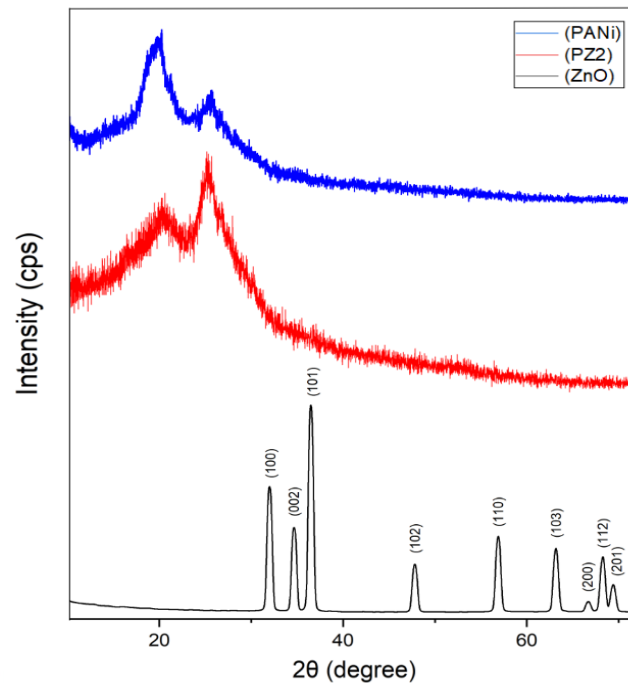


Gambar 1. Hasil spektrum FTIR pada PANi, ZnO, komposit (PZ1, PZ2, dan PZ3)

Hasil pengujian XRD ditunjukkan pada **Gambar 2**. Pola XRD ZnO menunjukkan puncak yang tajam dan sempit pada $2\theta = 31.8^\circ, 34.4^\circ, 36.3^\circ, 47.5^\circ, 56.6^\circ, 62.9^\circ, 66.4^\circ, 67.9^\circ$, dan 68.1° . Puncak tersebut menunjukkan struktur wurtzite heksagonal dan kristalinitas ZnO (Mutlaq et al. 2021). Sedangkan terdapat puncak $2\theta = 20.1^\circ$ dan 25.7° pada pola XRD PANi yang menunjukkan PANi bersifat amorf (Dhole et al. 2018).

Pola XRD komposit PANi/ZnO sangat mirip dengan pola XRD PANi tetapi terdapat intensitas yang

lebih tinggi di puncak komposit pada $2\theta = 25.7^\circ$, hal itu menunjukkan adanya interaksi ZnO dan PANi dengan pembentukan ikatan hidrogen anatar H-N dan oksigen ZnO (Khan, Radhakrishnan, and Beena 2018). Jika dibandingkan dengan kristalinitas ZnO murni, komposit PANi/ZnO menunjukkan kristalinitas yang lebih rendah. Hal itu dikarenakan penghambatan kristalinitas ZnO oleh PANi yang bersifat amorf (Paulraj et al. 2017).

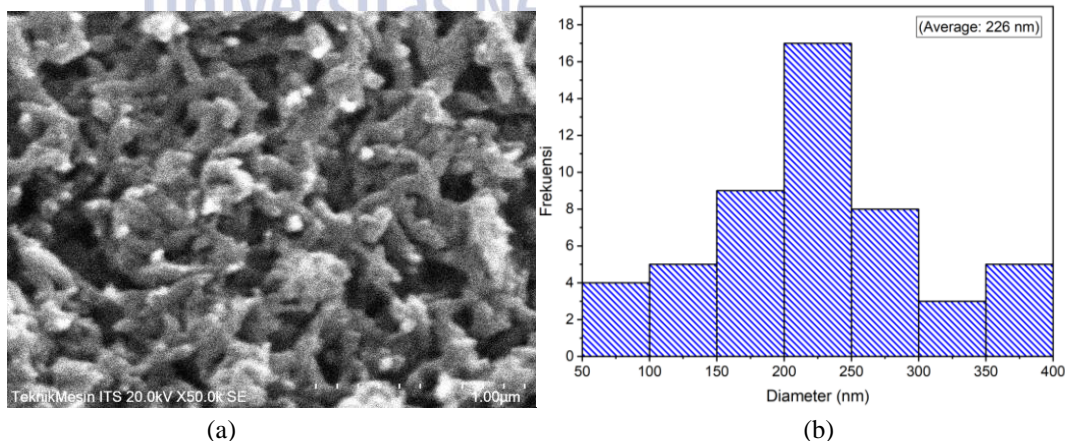


Gambar 2. Hasil XRD pada PANi, ZnO, dan PZ2

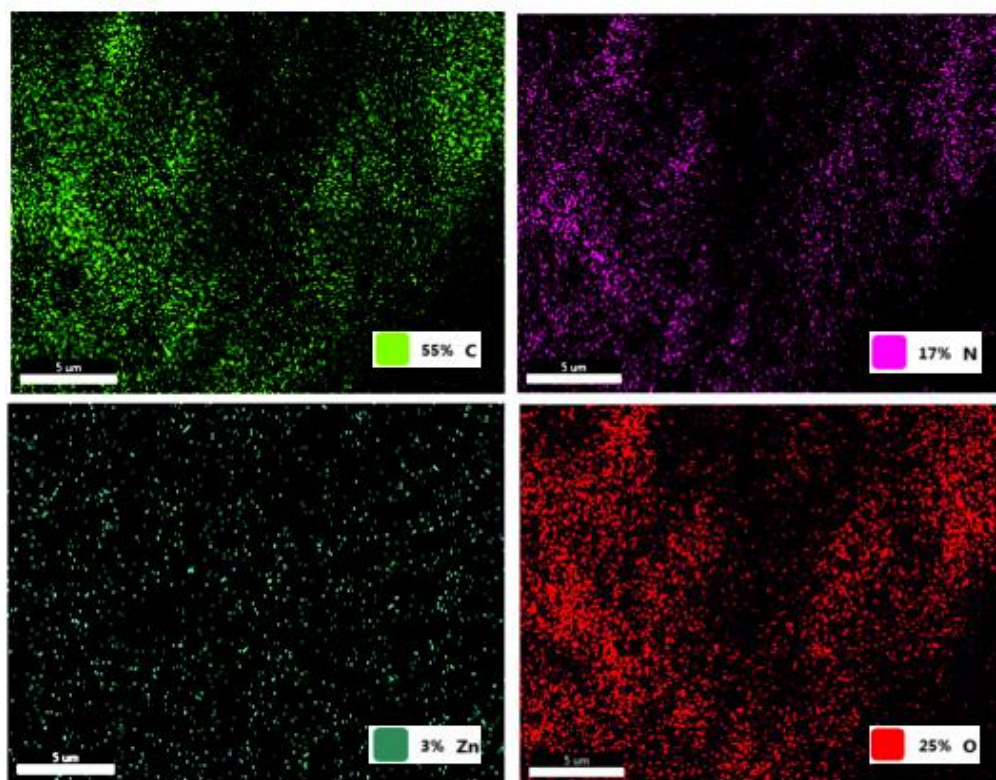
Fitur morfologi sampel diamati menggunakan SEM. **Gambar 4.a** menunjukkan hasil SEM komposit PZ2 dengan perbesaran 50.000 x dan tegangan 20kV. Partikel komposit PANi/ZnO memiliki bentuk *ovoidal-shaped* dan struktur berpori yang ditunjukkan pada daerah warna hitam, hal itu menandakan bahwa komposit PANi/ZnO dapat digunakan sebagai bahan dasar sensor gas karena material dengan struktur berpori dapat mengadsorpsi molekul gas dan berpengaruh pada sensitivitas suatu material (B, John, and Panda 2021). **Gambar 4.b** menunjukkan histogram distribusi ukuran partikel menggunakan *software Image-J*. Adapun komposit PANi/ZnO memiliki ukuran partikel dengan diameter rata-rata sebesar 226 nm. Pada penelitian Mutlaq et al. (2021), hasil SEM komposit PANi/ZnO memiliki ukuran partikel dengan diameter sebesar 200

nm. Bila dilihat dari diameter partikel, hasil penelitian ini tidak terlalu jauh berbeda.

Gambar 5 menunjukkan komposisi unsur yang terdapat pada gambar SEM komposit PZ2. Terdapat beberapa unsur pada komposit PANi/ZnO, antara lain unsur karbon (C), nitrogen (N), oksigen (O), dan zinc (Zn). PANi merupakan bentuk polimer dari monomer anilin yang memiliki rumus molekul $C_6H_5NH_2$ sehingga dapat diketahui bahwa unsur karbon dan nitrogen berasal dari PANi sedangkan unsur oksigen dan zinc berasal dari ZnO. Adapun unsur zinc pada komposit PANi/ZnO hanya menunjukkan keberadaannya sebesar 3%, hal itu dikarenakan massa ZnO yang ditambahkan pada saat sintesis komposit PANi/ZnO hanya sebesar 0.2 gram.



Gambar 4. Hasil SEM pada PZ2 (a), histogram distribusi ukuran partikel pada PZ2 (b)



Gambar 5. Hasil SEM-Mapping pada PZ2

Dari karakterisasi yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa sintesis komposit PANi/ZnO berhasil dilakukan pada penelitian ini. Hal itu ditandai dengan adanya pita serapan jenis ikatan milik ZnO pada komposit PANi/ZnO, yakni pada bilangan gelombang 674 cm^{-1} . Selain itu, terjadi pembentukan ikatan hidrogen antara H-N dengan oksigen ZnO yang membuktikan adanya interaksi antara PANi dengan ZnO sehingga intensitas puncak XRD komposit PANi/ZnO lebih tinggi dibanding intensitas puncak XRD PANi. Hasil SEM-Mapping pada komposit PANi-ZnO juga menunjukkan unsur yang dapat membuktikan sintesis komposit PANi/ZnO berhasil dilakukan, diantaranya unsur karbon (C), unsur nitrogen (N), unsur oksigen (O), dan unsur zinc (Zn). Komposit PANi/ZnO dapat digunakan sebagai bahan dasar sensor gas karena memiliki stuktur berpori dimana material dengan struktur berpori dapat mengadsorpsi molekul gas dan berpengaruh pada sensitivitas suatu material.

KESIMPULAN

Komposit PANi/ZnO berhasil disintesis menggunakan metode polimerisasi in-situ ditunjukkan dengan adanya puncak serapan FTIR 674 cm^{-1} jenis ikatan milik ZnO yang menandakan keberadaan ZnO pada komposit PANi/ZnO, selanjutnya intensitas komposit PANi/ZnO menjadi lebih tinggi dibanding PANi pada 20

= 25.7° yang menandakan interaksi ZnO dan PANi dengan pembentukan ikatan hidrogen antara H-N dan oksigen dari ZnO. Komposit PANi/ZnO memiliki ukuran partikel 226 nm dengan bentuk *ovoidal-shaped* dan struktur berpori yang menandakan dapat digunakan sebagai bahan dasar sensor gas.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Material Jurusan Fisika Universitas Negeri Surabaya (UNESA), Laboratorium Material dan Metalurgi serta Laboratorium Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) yang telah memberikan fasilitas sehingga membantu peneliti dalam pembuatan sampel serta pengujian FTIR, XRD, dan SEM.

DAFTAR PUSTAKA

- 'Arifah, Nur, and Alimin Mahyudin. 2021. "Pengaruh Nanoserat Pinang Dan TiO₂ Terhadap Sifat Listrik Dan Sifat Mekanik Komposit Polianilin." *Jurnal Fisika Unand* 10(4):493–98. doi: 10.25077/jfu.10.4.493-498.2021.
- Abdulrahman, A. F., S. M. Ahmed, and M. A. Almessiere. 2017. "Effect of the Growth Time on the Optical Properties of ZnO Nanorods Grown by Low Temperature Method." *Digest Journal of*

Nanomaterials and Biostructures 12(4):1001–9.

- Akbar, Said Ali. 2021. "Sensor Gas Amonia Berbasis Polimer Konduktif Polianilina : Sebuah Review." *Jurnal Kimia Sains Dan Terapan* 3(2):1–8.
- Asgari, Esrafil, Ali Esrafil, Ahmad Jonidi Jafari, Roshanak Rezaei Kalantary, Heshmatollah Nourmoradi, and Mahdi Farzadkia. 2019. "The Comparison of ZnO/Polyaniline Nanocomposite under UV and Visible Radiations for Decomposition of Metronidazole: Degradation Rate, Mechanism and Mineralization." *Process Safety and Environmental Protection* 128:65–76. doi: 10.1016/j.psep.2019.05.050.
- B, Sowmya, Athira John, and P. K. Panda. 2021. "A Review on Metal-Oxide Based p-n and n-n Heterostructured Nano-Materials for Gas Sensing Applications." *Sensors International* 2. doi: 10.1016/j.sintl.2021.100085.
- Dhole, Swapnil G., Satish A. Dake, Tejpuj A. Prajapati, and Sangram N. Helambe. 2018. "Effect of ZnO Filler on Structural and Optical Properties of Polyaniline-ZnO Nanocomposites." *Procedia Manufacturing* 20:127–34. doi: 10.1016/j.promfg.2018.02.018.
- Gilja, Vanja, Ivan Vrban, Vilko Mandić, Mark Žic, and Zlata Hrnjak-Murgić. 2018. "Preparation of a PANI/ZnO Composite for Efficient Photocatalytic Degradation of Acid Blue." *Polymers* 10(9):1–17. doi: 10.3390/polym10090940.
- Khan, J. Shanavas, A. Radhakrishnan, and B. Beena. 2018. "Polyaniline/Zinc Oxide Nanocomposite as a Remarkable Antimicrobial Agent in Contrast with PANI and ZnO." *Indian J. Adv. Chem. Sci* 6(March):71–76. doi: 10.22607/IJACS.2018.602002.
- Liu, Chunhua, Huiling Tai, Peng Zhang, Zongbiao Ye, Yuanjie Su, and Yadong Jiang. 2017. "Enhanced Ammonia-Sensing Properties of PANI-TiO₂-Au Ternary Self-Assembly Nanocomposite Thin Film at Room Temperature." *Sensors and Actuators, B: Chemical* 246:85–95. doi: 10.1016/j.snb.2017.01.046.
- Mahajan, Sunil, and Shweta Jagtap. 2020. "Metal-Oxide Semiconductors for Carbon Monoxide (CO) Gas Sensing: A Review." *Applied Materials Today* 18. doi: 10.1016/j.apmt.2019.100483.
- Mutlaq, Sawsan, Borhan Albiss, Anas A. Al-Nabulsi, Ziad W. Jaradat, Amin N. Olaimat, Mohammad S. Khalifeh, Tareq Osaili, Mutamed M. Ayyash, and Richard A. Holley. 2021. "Conductometric Immunosensor for Escherichia Coli O157:H7 Detection Based on Polyaniline/Zinc Oxide (Pani/Zno) Nanocomposite." *Polymers* 13(19). doi: 10.3390/polym13193288.
- Paulraj, Rajendran, Prabakaran Shankar, Ganesh Kumar Mani, Lawrence Nallathambi, and John Bosco Balaguru Rayappan. 2017. "Fabrication of PANI–ZnO Nanocomposite Thin Film for Room Temperature Methanol Sensor." *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 28(15):10799–805. doi: 10.1007/s10854-017-6857-y.
- Putri, R. K. ..., and N. M. .. Putra. 2014. "KARAKTERISTIK STRUKTUR, OPTIK, DAN LISTRIK FILM TIPIS POLIANILIN (PANI) DOPING HCl YANG DITUMBUHKAN DENGAN METODE SPIN COATING." *Unnes Physics Journal* 3(1):14–21.
- Qin, Runhua, Lingyun Hao, Yi Liu, and Yueling Zhang. 2018. "Polyaniline-ZnO Hybrid Nanocomposites with Enhanced Photocatalytic and Electrochemical Performance." *ChemistrySelect* 3(23):6286–93. doi: 10.1002/slct.201800246.
- Thomas, Deepu, Ajith Thomas, Anju Elsa Tom, Kishor Kumar Sadasivuni, Deepalekshmi Ponnamm, Solleti Goutham, John John Cabibihan, and Kalagadda Venkateswara Rao. 2017. "Highly Selective Gas Sensors from Photo-Activated ZnO/PANI Thin Films Synthesized by MSILAR." *Synthetic Metals* 232(August):123–30. doi: 10.1016/j.synthmet.2017.08.006.
- Widiyanti, Nurvita, and Nugrahani Primary Putri. 2018. "Sintesis Polianilin Dengan Metode Interfasial Menggunakan Variasi Larutan Dalam Fasa Organik." *Inovasi Fisika Indonesia* 7(02):71–73.
- Widodo, Slamet. 2019. "Review Sensor Gas Berbasis Metal Oksida Semikonduktor Untuk Mendeteksi Gas Polutan Yang Selektif Dan Sensitif." *Techno-Socio Ekonomika* 12(2):92–112. doi: 10.32897/techno.2019.12.2.1.